

機械系3次元CAD/CAMシステムの効果的教育について

京都職業能力開発短期大学校

村上

誠*

Effective Practice of Three-dimensional CAD/CAM System for Mechanical Engineers

Makoto MURAKAMI

要約

生産技術分野における技術変革の大きなものの一つとして、CAD/CAMシステムを用いた生産技法(ものづくり)がある。今日広く一般に活用されつつある。これに併行して高度の3次元CAD/CAMは、モデリングやシステム管理を含め、効果的な操作・運用・管理のできる人材(実践技術者)の育成が望まれている。

このような中で、京都短大に先行グループとして機械系3次元CAD/CAMシステム(EWSベースのGRADEシステム11台)が導入され、実践的な教育訓練が試みられた。本文では5ヶ年間の実習・研究課題をとりまとめている。これらから実践技術者として必要と言われている運用技術やトラブルに対する問題解決能力を培う上の条件について考察論議した。とくに本論では、ものづくりにおける機械系高度3次元CAD/CAMシステムの有効な活用について、これらを取り巻く技術内容を追求し、必要とする要素を教育訓練システムとして示した。

1. はじめに

コンピュータを生産に利用するための研究が始まってから40年余りになる。その代表的なものの一つと目されているCADとCAMは、当初は別のもので発展してきたが、今日においては、両者を一体としたCAD/CAMシステムが、実用機として広く普及してきている。しかしながら、これらの機器が汎用化してきているにもかかわらず、素人が、あるいはコンピュータ操作に馴れた者のすべてが、安易に使える段階に到達しているわけではない。やはり設計・製図・加工の基礎を学んだ者が段階的に機器操作に習熟していくプロセスが必要である。たとえば、3次元CAD/CAMについても、モデリングや切削データの創生法等、機器運用にあたり技術的に解決しておくべき問題も少なくない。近代化が進む産業界に、ハイテク技術の基礎から応用までマスターした実践技術者を送り出す義務を持つ職業能力開発短期大学校では、学生諸君に、いかにして短時間に要領よくCAD/CAM操作に関する教育訓練を実施していくかが重要な課題となっている。

このような中で、京都職業能力開発短期大学校(旧京都職業訓練短期大学校)では、1988年3月、EWSベースのGRADE(HZS社)CAD/CAMシステム11台が整備された。当時としてはCAD/CAMシステムは教育訓練機器としてめずらしく、従って教育課題もない状況の中で、ものづくりの実践的な教育訓練が試みられてきた。ここでは、今日までに逐次取り組んできた課題を整理し、CAD/CAM教育における訓練要素の体系を検討した結果を報告する。

2. 技能と技術

生産技術分野では、科学技術の進歩・産業構造の近代化に伴い、個人の技能に依存していた比較的単純な繰り返し作業は技術的に分析され、逐次機械作業に置き換えられてきた。すなわち、ある意味では技能者は機械に仕事が奪われ、あるいは変化を余儀なくされてきた。

しかし、その反面において、当然のことながらこれらの新しい機械システムを操作・運用するための新たな技能が必要となってきている。すなわち、従来は設

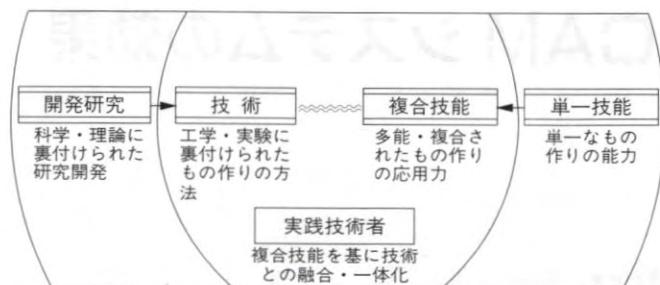


図1 技能・技術の分野と実践技術者の関係

計製図・機械加工・金属加工・電気設備等はいずれも独立した業務であって、それぞれの作業は専門の技能者・技術者によって分担されてきた。しかし新しく作られた機器の操作・運用・保守・点検のためには、より高度で幅広い知識技能をもっていることが必要とされる。すなわち機器の近代化は、新しい技能を創造することになるが、その内容は単能工の高度な技能の複合を必然とする。

実践技術者を養成するための教育訓練は、当然のことながら技能・技術を一体化・複合化したものでなければならない。図1は、こうした技術と技能の融合論の立場から生産技術者教育を見たものである。図より、単一な技能は、複合技能へと発展し、また開発研究の成果は、新しい機械システムによる技術を生み、この両者は、関連して新しい技術・技能を生む。かつては技能は技能者、技術は技術者という分離と共存の形で存在していたものが、技術革新の進行に伴い、技能と技術の複合・融合の形に変化することとなる。したがって、これからさらに発展するであろうハイテク生産方式では、図に示す複合技能及び技術をもってこれらを複合・融合しながら作業をする新しい技術者（実践技術者）が求められるといえる。その一例を3次元CAD/CAMシステムの運用技術に見ることができる。

3. CAD/CAM 教育

3.1 生産技術科におけるカリキュラム

生産技術の分野にコンピュータが導入され、“ものづくり”の機器としてCAD/CAMシステムが重要な役割を果たすようになってきた。そうした中で、本校は職業訓練短大の中での先行グループとして、1988年4月から3次元CAD/CAMの教育訓練を開始した。設計からモデリングさらにNC加工を行う上で使用した機器を、ハードシステムとして図2に示す。

訓練科目は、基礎として「CAD演習」2単位、「CAD/CAM演習」2単位、そして設計製図の支援にCADを

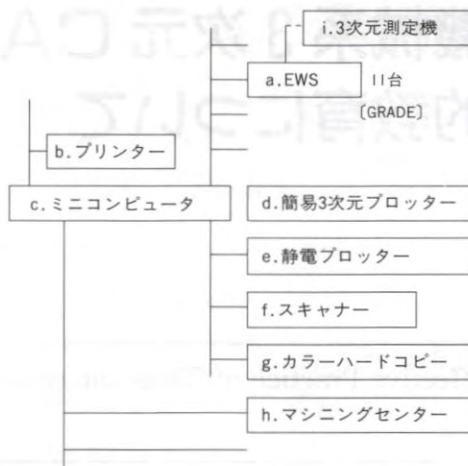


図2 CAD/CAMハード構成の概要

表1 CAD演習

CADのシステム概要、CAD機能の開設とOS運用、簡易言語、2次元作図法等の実践学習を目的とする。	
1-1	CADのハードシステム
2	OS環境の運用
3	簡易言語
2-1	CADの概説
2	CAD機能の概要と操作法
3	CAD支援による機械系図面の作図法
3-1	課題図面の作図
2	課題考察

表2 CAD/CAM演習

CAD/CAMシステムの概要、3次元形状のフレーム作成、サーフェス作成法及び、DNC加工を行い実践学習を目的とする（CAD修了を対象）。	
4-1	3次元CAD/CAMの概説
2	OSの環境設定法
5-1	3次元モデリング機能の概要、及び作成法
2	3次元サーフェス作成法
6-1	NC加工データの条件設定とその作成法
2	CAD/CAMシステムによるNC加工法
7-1	自主課題による3次元モデリングとDNC加工製作
-2	課題考察

用いた「機械設計製図」2単位、さらに「卒業研究」10単位（年度によって多少の変更）である。ちなみに「CAD演習」と「CAD/CAM演習」の教育訓練内容を表1、表2に示す。また、これらを基礎にして、実習や卒業研究で製作した物の一例を写真1、写真2に示す。

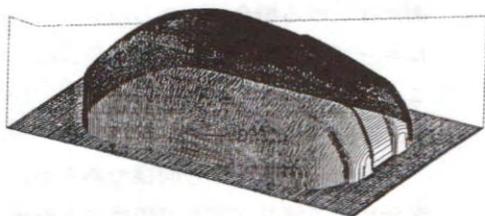


写真1 マウスの曲面のNCパス事例

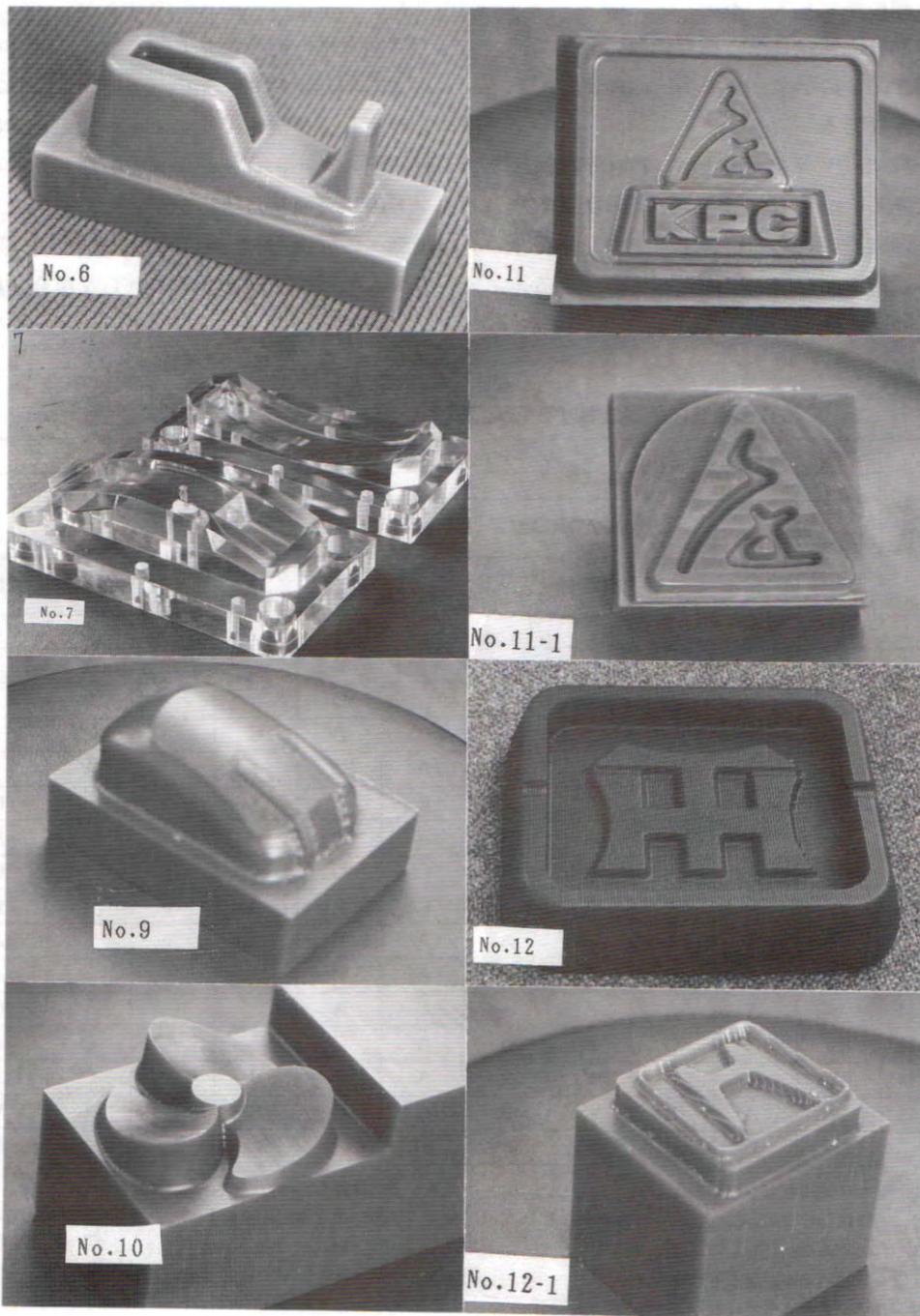


写真2 3次元CAD/CAMシステムによる実践例

3.2 教育訓練の事例分析

CAD/CAM システムを用いたものづくりのための教育訓練の課題事例を整理して、CAD/CAM の基本操作や、関連技術などの作業要素別分類したものを表3に示す^{(2),(3),(4)}。縦1～15行は実践した課題例を示し、縦I～V枠は、各課題例の作業要素の共有の度合いにより、ブロック化したものである。横列は、各課題にて主に用いた作業要素を列記している。また表中のA、B、Cは作業要素ごとの到達度を表したもので、項目ごとに表3の下欄に注記している。

各課題ごとの教育訓練の目的と教育効果、そして、必要とした機器を図2に示すハード構成図の記号で列挙すると次のようである。

課題1は、一般にパソコンCADといわれる機械図面の製図作業である。必要な作業要素はCAD基本操作と機械製図の知識でこれらの複合する能力を修得する。そのほか非幾何学的線図を図面として再生すると

き、スキャナーを用いてディスプレイ上に移し機械図面に仕上げる場合、これらのシステム操作をするためにユーザ・コマンド機能（簡易言語）を用いるなど、これらを複合する能力を修得する。（ハード：a, b, c, e, f）

課題2は、課題1と同様であるが、パラメトリック表示による簡易作図を可能にするため、簡易言語によるプログラミングを中心とするソフト製作を行った。CAD基本操作と機械製図、ユーザ・コマンド機能を融合・複合する能力を修得する。（ハード：a, b, c, e）

課題3は、簡単な立方体または六面体のモデルを3次元CADにて作図して、その内の3面に、時計の三針を設定し、3次元グラフィック面上における三針の回転状況のシミュレーションを製作した。ユーザ・コマンド機能（簡易言語）を用いて、プログラムを作成し画面への描画、およびCAD基本操作とCAD/CAMシステムの環境操作を含めこれらを複合・融合する能力

表3 生産技術科におけるCAD/CAMシステム教育訓練事例

課題例	システム運用における作業要素											
	CAD/CAM						必要とした関連知識・技能					
	システム環境	2次元CAD	3次元CAD/CAM			NC機械加工法	機械製図	力学等の工学知識	測定・実験機器	簡易言語	切削加工法	
システム環境運用	CAD基本操作	フレーム作成法	面はり法	NCパスの作成法								
I	1	C	A					A			C	
	2	C	C					C			A	
	3	C	C					C			A	
II	4	C	A					B	C			
	5	B	C				A	C			A	
III	6	A	A	A	A	A	C	A			C	
	7	A	A	A	A	A	A	A			A	
IV	8	B	A	A	A	A	C	C		B	C	
	9	B	A	A	A	A	C	B		A	B	
	10	B	A	A	A	A	A	B		A	A	
	11	B	A	A	A	A	A	B		B	A	
	12	B	A	A	A		C	A			C	
V	13	B	B	C	A	A	A	C		A	C	A
	14	A	A	B	B	A	A	C	B	A	C	A
	15	A	B	B	B	B	C	C	B	B		V
	※1	※2	※3	※4	※5	※6	※7	※8	※9	※10	※11	

注記 ※1 高度に運用したのからA,B,C
 ※2 基本操作の要素が高度であったものからA,B,C
 ※3 作成技術が高度なものからA,B,C
 ※4 面はり技術が高度なものからA,B,C
 ※5 作成に対し高度な技術からA,B,C
 ※6 用いたNC機について実機をA,簡易NC機をC
 ※7 高度な製図力からA,B,C
 ※8 歪（材料力学）等についての知識
 ※9 3次元測定機、スキャナー、モアレ稿測定等周辺機器の利用度の高いものからA,B,C
 ※10 アプリケーション簡易言語によるプログラミングの高度のものからA,B,C
 ※11 切削法について高い技術からA,B,C

を修得する。(ハード：a, b, c, g)

課題4は、簡単な機械構造物の形状要素(中空円筒や角棒)をCADにてモデリングしたものに、市販(付属)のFEMソフトを用いて画面上で荷重による応力やひずみの解析作業を行い、その現象を観察し設計作業に活かすべくCAD運用法を学習した。簡単な材料力学や機械製図およびCAD基本操作など、これらを複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, c, g)

課題5は、ディスプレイ上に作図した簡単な2次元線図を例に、その線図を走る軌跡のNCデータの作成とその加工である。図の各線例えば、円弧、直線部分を順次ピックすると、その都度カッターパスの右回り、左回りの問いに答えて、与えた図形の2次元NCテープが創生できる。その後簡易プロッターを用いて切削実証した。

ユーザ・コマンド機能を用いたプログラミングを中心としたソフトの製作で、これらはCAD/CAMのNC機械制御の仕組みをシステム環境として学習でき、CAD基本操作と機械製図、NC制御、NC機械加工等、これらを複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, b, c, d, g)

課題6～7は、セロテープ台、受話器の再生モデルの製作である。CAD基本操作に加え、機械製図、切削加工法、NC機械加工法、CAD/CAM環境システム操作などによりこれらを複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, c, d, g)

課題8は、富士山の模型製作を試みた。市販の地図の等高線をスキャナーで読みとり、そのデータによりディスプレイ上に2次元の等高線図を創生し、これにて作った山の凹凸を示す多数の等高線図を新たに3次元のスプラインとして創生する。この様にしてできた湾曲の激しいスプラインにサーフェス(面)を作り、3次元サーフェスモデルを作成する。このモデルを用いてNCデータを作るための切削条件を入力し、その後、簡易プロッターで切削し、モデル品の製作をした。山(モデル)の表面が複雑であるため、CAD基本操作に加え、ワイヤーフレームやサーフェス作成において、適切なコマンドの選定とその作成方法において加工上の適正な判断力を必要とした。

これらは、CAD/CAMシステムの機能を有効に活用するため、これらの作業要素を、複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, c, d, f, g)

課題9は、マウスのモデルを再現した。主に3次元測定機、CAD操作、ワイヤーフレーム、面張り、切削加工法、NC加工法、機械製図などの技術・技能を用い

たが、CAD基本操作とこれらの技術・技能をもとにして複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, c, d, f, g)

課題10は、扇風機の3枚羽根の再現である。羽根の3次元測定と、そのデータによる立体モデリング、面張り、さらに切削加工までの連携技術が必要でCAD基本操作と各作業要素の複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, c, d, g, h)

課題11～12は、シンボルマークの製作である。写真1のNo.11及びNo.11-1等の円錐台曲面が複合された曲面で輪郭された文字等の非幾何学的な立体形状の製作である。CAD/CAMシステムを用いてモデルをスキャナーで入力し、CADでモデリングし、その後CAD/CAMシステムによりDNC切削加工を行う。種々のモデリング技法の複合技法とスキャナーを用いたCAD/CAMシステムをうまく運用する方法を修得する。(ハード：a, c, d, f, g, h)

課題13は、切削表面の実験研究にCAD/CAMシステムを広く活用した例である⁽²⁾。切削の適正条件の研究が目的であるが、CAD基本操作、3次元モデリング、マシニングセンタ加工法やCAD/CAMシステムを活用してこれらを複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, b, c, h)

課題14は、本システム機能を設計作業の中で、いかに広く有効に活用するかの事例である。両端2点支持のS45C製矩形断面棒に曲げ荷重を加えたとき、曲げ応力一定の真直棒をCAD/CAMシステムを用いて製作するものである。曲げ応力の計算から応力一定の断面形状を理論的に求め、矩形断面棒の断面形状を表す空間座標値を求める。その後ユーザ・コマンド機能を用いて作ったソフトに入力し、ディスプレイに3次元空間座標値として表示する。この表示した点を用いてスプライン、さらにサーフェスを作成し、モデルを製作する。これにNCデータ創生のための切削条件を入力し、できたNCデータを用いて、マシニングセンタで切削加工する。

この矩形断面棒が応力一定材となる形状であるかを検証するため、マシニングセンタのテーブル上に保持されているままで曲げ荷重を加え、抵抗線ひずみゲージを用いてひずみの現象を観察及び解析をする。形状に問題があればCADを用いモデルの修正を行いマシニングにて修正加工する。

構造物設計にCAD/CAMシステムを用いて各作業要素を連携し融合させる技術・技能を修得する。たとえば材料力学関連の知識、NC加工法、CAD基本操作、

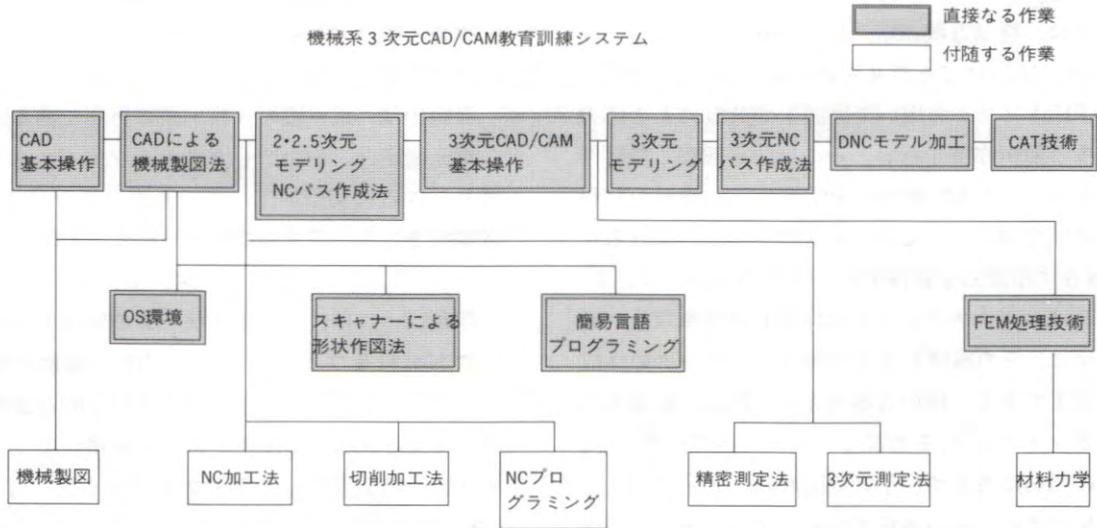


図3 機械系 CAD/CAM 教育要素

3次元モデリング法、NCデータ作成法、ユーザ・コマンド機能等CAD/CAMシステムを一体的に活用するため、これら知識と作業要素を複合・融合する能力である。(ハード：a, b, c, d, g, h)³⁾

課題15は、切欠き部の強度設計により、応力一定材の試作製品の製作に、その加工に至るまでCAD/CAMシステムを広く活用した事例⁴⁾である。課題14と同様、CAD/CAMシステムと各作業要素を複合・融合する能力を修得する。(ハード：a, b, c, d, g, h)

4. CAD/CAM 教育訓練要素

教育訓練の実践を通じ、図1に述べた生産技術分野の実践技術者教育論を、ものづくりにおける機械系3次元CAD/CAM技術者をめざす教育訓練要素と教育システムとしてまとめたものが図3である。同図において、各ブロックは独立した作業要素であり、薄く塗られたブロックは直接EWSマシンに向かって作業をすることを表している。白いブロックは関連し付随する技術(知識・技能)である。

例えば、課題1～2のCADを用いた機械製図の能力は、図3の「CAD基本操作」に加え、「CADによる機械製図法」、「OS環境」、さらに高度な領域となれば「スキャナーによる形状作図法」、「ユーザ・コマンド機能(簡易言語プログラミング)」等を加えた各作業要素を直接EWSで作業を行い、白いブロックの「機械製図」の知識を持っていることが必要であることを示している。従って高度なCAD機械製図をする場合には、6つの作業要素を用い、これを複合・融合する能力が

必要といえる。また同図は、薄く塗られたブロックの作業の目的により、必要とする作業要素とこれらの作業要素を複合する所をシステムとして示している。さらに課題3～15についても、3.2教育訓練の事例分析において述べた要素に加え、CAD操作への段階的導入の場所についても同様に見ることができる。

したがって、表3の課題例を行うCAD/CAMシステム運用技術者を教育するには、CAD機のキー操作により行う直接なる作業、すなわち図3の薄く塗られたブロックの作業要素とあわせ、白いブロックに示す作業要素の教育を必要とする。また、同図から、CAD基本操作のみ習得しても、ものづくりには到達し得ないことがわかる。薄く塗られたブロックの作業に応じて、少なくとも白いブロックで示す技術・高度技能を持ち合わせることを有効なことを示している。

さらに、CAD基本操作を越えた技術・技能を保有し、複合・融合することにより、システム化されたCAD/CAMを取り巻くこれらの機器を運用・管理することが可能となり、トラブル発生時の処理対策を可能とする。これができる者が、今日求められているCAD/CAM運用技術者といえる。

以上のことは、これらの教育訓練要素を2ヶ年の生産技術科における実践技術者教育訓練科目の中から引用できるし、しかも将来にわたって企業が必要とするテクニシャンエンジニアの養成課程の教育訓練要素とも考えられる。

また、技術革新に適応できるためのものづくりに対応した教育訓練要素が構築されており、コンピュータ

学院等専修学校とは異なって、より実践的に学ぶことができる環境であるといえる。

5. おわりに

本文では、CAD/CAM システム運用の実践技術者を想定した訓練要素を考察論議し、特に図3に教育訓練要素とその教育システムを示したが、同図は各ブロックの作業要素と、各ブロック間を融合する技術を合わせ持つとともに、これらのトラブルに対し、問題解決能力を持つことが必要なことを示している。このような技術者がCAD/CAMを有効に管理運用できる条件といえる。

CAD/CAMを使用している多くの企業では、ブロックごとに作業をする傾向があることから、在職者訓練にはブロックごとに独立したコースの設定ができる。今後はさらに年齢や技術能力に応じたコースを開発できれば、能力開発セミナーがより適切に実施できるのではないかと思惟している。

本論が、3次元CAD/CAMの教育訓練体系づくりと、これに基づく、各ブロックの教育訓練用テキストの開発、教育訓練方法の研究等に役立てば幸いである。

参考文献

- (1) 森 和夫：ハイテク時代の技能教育とその展望，「職業能力開発ジャーナル」，Vol 35/No. 5～6，労働省職業能力開発局，(1993)
- (2) 村上 誠：CAD/CAMで設定するピックフィード値と表面粗さに関する考察，「職業能力開発報文誌」，Vol 4/No. 1，(1992)
- (3) 実践教育機械系研究会 CAD/CAM 分科会：京都職業訓練短期大学校 CAD/CAM 論文集，「職業訓練短期大学校 CAD/CAM 教材集」，Vol 3，実践教育研究会，(1992)
- (4) 村上 誠：モアレ縞より CAD/CAM を用いた自由曲画形状への展開，「実践教育」，Vol 4/No. 1，実践教育研究会，(1989， 3)
- (5) 勸大阪科学技術センターCIM研究会：CAD/CAMの基礎，「コンピュータ設計・製図(I)」，共立出版，(1991)